

Международ. науч.-практ. конф. «Технические науки в мире: от теории к практике» Ростов-на-Дону. 11.08.2016.

3. Савашинский И. И. Effective vehicles speed measurement system «Iskra-1» radio-electronic repression // Международ. науч.-практ. конф. «Современные достижения и разработки в области технических наук». Хабаровск. 25.08.2016.

УДК 519.673

А. М. Слободяник

Научный руководитель: канд. тех. наук, доц. Ю. А. Нифонтов
Уральский федеральный университет, Екатеринбург

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МНОГОЛУЧЕВОСТЬЮ И МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ

Аннотация. В статье рассматривается помехозащищенность и помехоустойчивость широкополосной системы связи с многолучевостью и межсимвольной интерференцией (МСИ). Основное внимание обращается на адаптивные методы обработки сигнала, позволяющие уменьшить влияние многолучевого распространения, в результате которого возникает МСИ. Приведена модель системы связи, которая позволит проанализировать помехозащищенность и помехоустойчивость при многолучевом распространении сигнала, а также результаты ее экспериментального исследования.

Ключевые слова: сигнал; многолучевой канал; межсимвольная интерференция; адаптивные алгоритмы; адаптивный эквалайзер.

Отражение сигнала от строений, поверхности Земли и прочих объектов, влечет за собой многолучевое распространение сигнала. При многолучевом распространении могут возникать следующие явления: замирания и межсимвольная интерференция, т. е. на приемной стороне в результате прохождения сигналом нескольких путей распространения появляется сигналоподобная помеха. Проще говоря, МСИ — это искажение передаваемого сигнала за счет откликов на ранее идущие сигналы [1]. МСИ может возникать еще и за счет активного радиопротиводействия (искусственное создание помех), а также в системах множественного доступа.

Решение проблемы МСИ можно свести к синтезу приемника, который использует способ компенсации МСИ в принимаемом сигнале. Компенсатор

МСИ назван адаптивным фильтром или эквалайзером. Адаптивный эквалайзер — это устройство, которое принимает на свой вход сигнал, с изменяющимися во времени характеристиками, он изменяет (адаптирует) свои параметры для компенсации МСИ и наилучшего приближения выходного сигнала к эталонному. Данный вид эквалайзера приспособляется к характеристикам того канала, по которому был передан исходный сигнал. По результатам теоретического обоснования разработана модель системы связи с многолучевым распространением сигнала (рис. 1) и приведены эксперименты по исследованию возможностей адаптивного фильтра (эквалайзера).

В ходе моделирования используется блок LMS фильтра. Оценка весовых коэффициентов фильтра, необходимых для минимизации ошибки $e(n)$, между выходным сигналом $y(n)$ и эталонным сигналом $D(n)$, выражается в следующем виде:

$$\omega(n) = \alpha \cdot \omega(n - 1) + f(u(n), e(n), \mu), \quad (1)$$

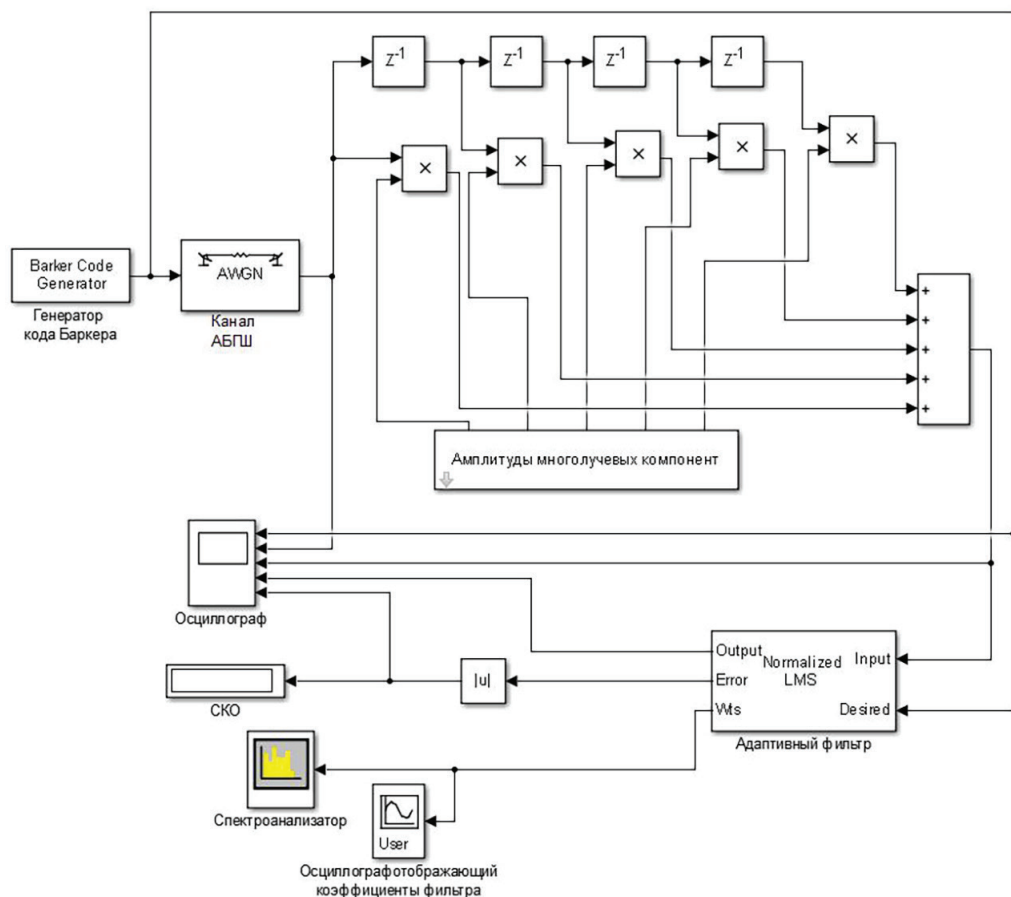


Рис. 1. Модель системы связи с многолучевым распространением сигнала

где α — коэффициент рассеяния ($0 < \alpha \leq 1$); $\omega(n-1)$ — вектор весов фильтра оцениваемых на шаге $n-1$; $u(n)$ — вектор буферизованных входных отсчетов на шаге n ; $e(n)$ — оценка ошибки на шаге n ; μ — размер шага адаптации.

Различные адаптивные алгоритмы фильтра LMS определяются следующим образом [2]:

- стандартный алгоритм наименьших квадратов (Standard LMS)

$$f(u(n), e(n), \mu) = \mu \cdot e(n) \cdot u^*(n), \quad (2)$$

где $u^*(n)$ является комплексно-сопряженным вектором буферизованных входных выборок на этапе n .

- нормированный алгоритм наименьших квадратов (Normalized LMS)

$$f(u(n), e(n), \mu) = \mu \cdot e(n) \cdot \frac{u^*(n)}{\varepsilon + u^H(n) \cdot u(n)}; \quad (3)$$

- знаковый алгоритм наименьших квадратов (Sign LMS)

$$f(u(n), e(n), \mu) = \mu \cdot \text{sign}(e(n)) \cdot u^*(n); \quad (4)$$

- знаковый алгоритм с ошибкой (Sign-error LMS algorithm)

$$f(u(n), e(n), \mu) = \mu \cdot e(n) \cdot \text{sign}(u(n)); \quad (5)$$

- нулевой алгоритм (Sign-sign LMS algorithm)

$$f(u(n), e(n), \mu) = \mu \cdot \text{sign}(e(n)) \cdot \text{sign}(u(n)). \quad (6)$$

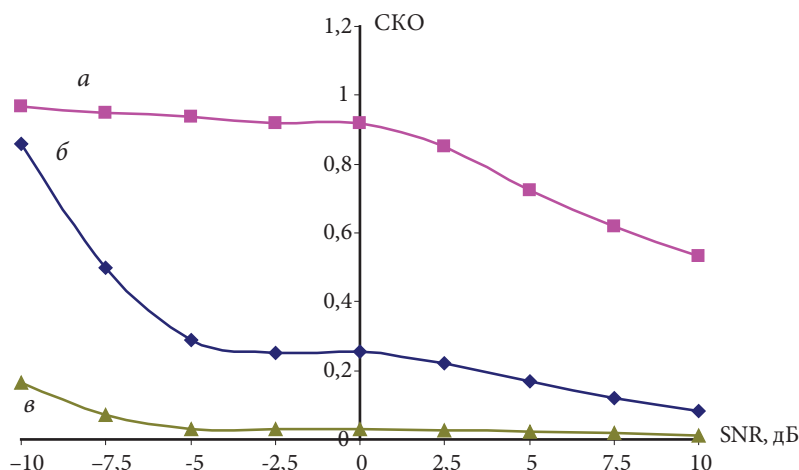


Рис. 2. Зависимости СКВ от SNR (АМК [0.05;0.04;0.03;0.02;0.01]):
а — NLMS; б — LMS; в — Sign-Error LMS

Проводя эксперименты для модели на рис. 1, зададимся следующими параметрами: длина кода Баркера 13, различные алгоритмы наименьших квадратов, амплитуды многолучевых компонент [0.05; 0.04; 0.03; 0.02; 0.01] и [0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01], отношение SNR в интервале $[-10, 10]$ dB с шагом 2,5 dB. По результатам исследования приведены графики зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) от отношения мощности сигнала к мощности шума (SNR) для трех алгоритмов (рис. 2, 3).

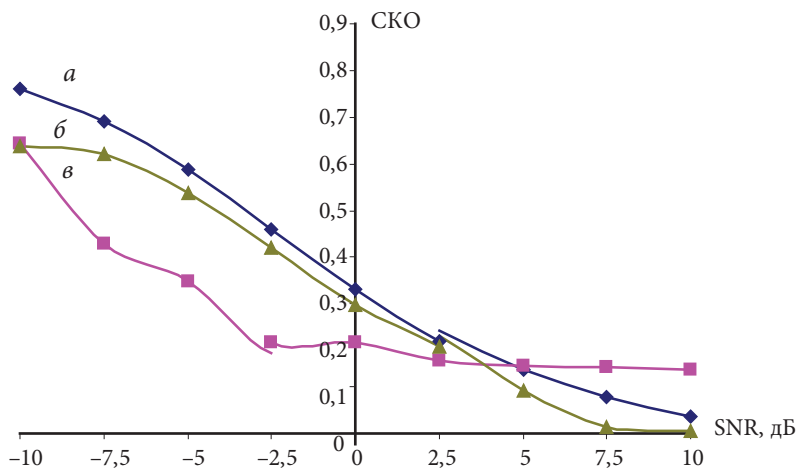


Рис. 3. Зависимости СКО от SNR (АМК [0.01;0.01;0.01;0.01;0.01]):
а — LMS; б — Sign-Error LMS; в — NLMS

По результатам исследования модели на рис. 1 сделан вывод о эффективности алгоритмов. При разных мощностях в лучах многолучевого канала эффективность нормализованного алгоритма наименьших квадратов наихудшая, а в алгоритме с ошибкой наилучшая (рис. 2). По графикам рис. 3, где мощности лучей одинаковы, можно отметить, что наилучшая эффективность наблюдается у стандартного алгоритма наименьших квадратов, а у алгоритмов (б) и (в) значения практически совпадают.

Список литературы

1. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М. : Техносфера, 2013. 528 с.
2. Описание блоков и алгоритмов моделирования в среде Matlab Simulink. URL: www.mathworks.com.